

EVALUASI HASIL PEMANTAUAN LAND SUBSIDENCE DI AREA SEKITAR TANGGUL LUMPUR SIDOARJO DENGAN TEKNOLOGI SIG

Amru Estu Cahyono dan Teguh Hariyanto

Program Studi Teknik Geomatika FTSP-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Abstrak

Semburan lumpur yang terjadi sejak 29 Mei 2006 di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sudah termasuk dalam tingkat yang sangat mengkhawatirkan. Semburan lumpur panas selama beberapa tahun ini menyebabkan tergenangnya kawasan permukiman, pertanian, dan perindustrian di tiga kecamatan di sekitarnya, serta mempengaruhi aktivitas perekonomian di Jawa Timur. Dengan mengacu pada volume lumpur yang terus bertambah, hal ini pasti menyebabkan terjadinya pengosongan massa yang diakibatkan oleh keluarnya lumpur secara terus-menerus, dan dikhawatirkan dapat menyebabkan terjadinya land subsidence atau penurunan tanah di Kecamatan Porong dan sekitarnya. Dengan melihat fenomena tersebut maka pemantauan secara berkala sangat diperlukan yang diharapkan dapat mengetahui arah dan besarnya penurunan permukaan tanah.

Pemantauan Land subsidence dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah dengan Global Positioning System (GPS). Data yang didapat dengan survei GPS selanjutnya akan diolah menjadi informasi pergeseran horisontal, pergeseran vertikal, kecepatan dan percepatan penurunan tanah. Dari informasi tersebut akan diproses dan dianalisa dengan teknologi Sistem Informasi Geografis untuk mengkaji dan menganalisa perubahan titik secara vertikal dan horisontal yang diintegrasikan dengan batas administrasi dari desa-desa setempat. Hal ini sangat bermanfaat sebagai Early warning System dalam penanganan bencana yang ditimbulkan oleh pergerakan tanah, terutama di desa sekitar tanggul lumpur Sidoarjo.

Hasil dari survei GPS menunjukkan bahwa pergeseran subsidence terbesar dialami titik VK-08 (-0.632 m pada kala 6-7) dan DG-04 (-0.503 m pada kala 8-9). Sedangkan Titik yang mengalami kenaikan (uplift) antara lain Titik TTG-1304, TTG-1305, P01, VK09 dan TTG-1322 yang berkisar antara 0 cm s/d 61 cm.

Kata Kunci : Semburan lumpur, Kecamatan Porong, *land subsidence*, SIG, survei GPS.

PENDAHULUAN

Penurunan permukaan tanah (*Land subsidence*) merupakan peristiwa yang berkaitan dengan fenomena-fenomena alam lainnya seperti terjadinya banjir, intrusi air laut, keamanan bangunan-bangunan gedung, keamanan sarana perhubungan darat, perubahan aliran sungai, dan lain sebagainya. Adapun penyebab *land subsidence* adalah pengambilan air tanah yang berlebihan (*groundwater over exploitation*), keluarnya gas dan lumpur secara *massive* dari dalam tanah ke permukaan, penurunan karena beban bangunan, penurunan karena adanya konsolidasi alamiah dari lapisan-lapisan tanah, serta penurunan karena gaya-gaya tektonik.

Mengingat fenomena yang telah terjadi di atas maka perlu dilakukan suatu pemantauan

penurunan permukaan tanah (*Land subsidence*) secara berkala untuk mengetahui tingkat penurunan tanah berdasarkan besar dan arah turunnya titik geser terhadap titik acuan (titik tetap). Disamping itu hasil dari besar dan arah penurunan tanah akan diintegrasikan terhadap batas-batas wilayah pedesaan yang ada di Porong dan Sidoarjo dengan teknologi SIG.

Pemantauan *Land subsidence* dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah dengan *Global Positioning System* (GPS). Pemantauan secara berkala, diharapkan dapat mengetahui arah, kecepatan dan besarnya penurunan permukaan tanah yang ada di sekitar tanggul Lumpur Sidoarjo. Dari hasil penurunan dan sebaran lumpur baru yang ada masih saling berhubungan sehingga berakibat pada tanggul area tersebut sering mengalami retakan yang

dapat memicu adanya percepatan jebolnya tanggul.

Daerah yang akan diteliti adalah di sekitar area tanggul lumpur Sidoarjo. Data yang digunakan dalam pembuatan sistem basis data hanya mencakup data penurunan tanah dari tahun 2008 hingga tahun 2010.

Analisis pergerakan yang dilakukan adalah analisis pergeseran secara horizontal (untuk menentukan arah penurunan tanah) dan vertikal (Untuk menentukan besarnya penurunan tanah).

Daerah penelitian pada penelitian ini adalah di sekitar semburan lumpur panas Lapindo, tepatnya terletak pada Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur

METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pengamatan GPS tiap periode (pada tahun 2008, 2009 dan 2010, Peta RBI, Citra Landsat sebagai tampilan layout peta) dan SIG. Penjelasan diagram alir pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan Awal
 - Studi literatur tentang deformasi dan *land subsidence*.
 - Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan GPS *geodetic* (Tahun 2008 – 2010).
2. Tahap Pengolahan Data dan Analisa Data
Pada tahapan ini akan dilakukan pengolahan data GPS dengan menggunakan software Topcon Tools.
3. Tahap Akhir
Hal yang dilakukan pada tahap ini adalah penulisan laporan dari semua proses dan kegiatan yang telah dilakukan.

Tahap Pengolahan Data dan Analisa Data

Berikut ini penjelasan dari diagram alir tahapan pengolahan data :

1. Data yang telah didownload dari GPS selanjutnya akan dimasukkan ke dalam software Topcon tools.

2. Setelah data GPS diimport ke dalam software Topcon Tools, proses selanjutnya adalah penentuan *Single Point Positioning* (SPP)
3. Pengolahan *Baseline*
4. Menentukan besarnya pergeseran, baik horizontal maupun pergeseran vertikal.
5. Pembuatan Sistem Informasi Geografis
6. Evaluasi arah pergerakan tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Besar Perubahan Tinggi

Tabel 1 Besar Perubahan Tinggi Kala 1-2 Tahun 2008

Nama Titik	ΔH_{12} (m)
BM01b	-0,2308
BMW03	0,0115
BMW08	-0,0870
BMW13	-0,0417
TTG1304	-0,0245
TTG1305	0,1771
TTG1307	-0,0025
TTG1322	0,3170
VK08	0,0568
VK09	-0,1080

Tabel 2 Besar Perubahan Tinggi Kala 3 Tahun 2008 – Kala 1 Tahun 2009

Nama Titik	ΔH_{31} (m)
BMW08	-0.096
BMW13	0.038
TTG1304	0.022
TTG1305	0.214
TTG1307	0.082
TTG1322	0.021
VK08	-0.162
VK09	0.02

Tabel 3 Besar Perubahan Tinggi Kala 3 Tahun 2009 – Kala 1 Tahun 2010

Nama Titik	ΔH_{31} (m)
BMW08	-0.051
BMW13	-0.059
DG04	-0.503
TTG1305	-0.099
TTG1307	0.066
TTG1322	0.074
VK08	0.661
VK09	0.098

Pergeseran Horisontal dan vertikal secara kumulatif

Pada tabel 4 diketahui bahwa titik TTG 1304 pada tiap kala memiliki perpindahan posisi horizontal

yang besar dengan rata-rata mencapai 0.483957 tiap kalanya.

Tabel 4 Pergeseran Horizontal Secara Kumulatif

Nama Titik	Σ ΔR12 (m)	Σ ΔR23 (m)	Σ ΔR34 (m)	Σ ΔR45 (m)	Σ ΔR56 (m)	Σ ΔR67 (m)	Σ ΔR78 (m)	Σ ΔR89 (m)
BM01b	0.0829	-	-	-	-	-	-	-
BMW03	0.0141	0.0125	-	-	-	-	-	-
BMW08	0.0063	0.0510	-	-	0.1692	0.1845	0.3143	0.1368
BMW13	0.0310	0.0499	-	-	0.1472	0.2979	0.2291	0.0446
TTG1304	0.3683	0.3389	0.0116	0.0109	0.0226	0.0097	0.8314	-
TTG1305	0.0012	0.1247	0.1201	0.0063	0.1563	0.0511	0.0621	0.1357
TTG1307	0.0245	0.0207	-	-	0.1243	0.0122	0.0091	0.0501
TTG1322	0.1201	0.0050	-	-	0.0324	0.0107	0.0326	0.0726
VK08	0.0527	0.0314	-	-	0.1683	0.3791	0.2903	0.0299
VK09	0.1393	0.1403	-	-	0.0346	0.0185	0.0288	0.0440
BMT01	-	0.0095	0.0134	0.0438	-	-	-	-
BMT02	-	0.0439	-	-	-	-	-	-
BMT03	-	0.0145	-	-	-	-	-	-
P01	-	-	0.1475	0.0086	-	-	-	-
P02	-	-	0.0971	0.0057	-	-	-	-
P03	-	-	0.0685	0.0096	-	-	-	-
P05	-	-	0.0063	0.0053	-	-	-	-
P06	-	-	0.0242	0.0102	-	-	-	-
P07	-	-	0.0170	0.0122	-	-	-	-
P08	-	-	0.1088	0.1088	-	-	-	-
DG04	-	-	-	-	-	0.0521	0.0519	0.1413

Tabel 5. Pergeseran Vertikal Secara Kumulatif

Titik	Σ ΔH12 (m)	Σ ΔH23 (m)	Σ ΔH34 (m)	Σ ΔH45 (m)	Σ ΔH56 (m)	Σ ΔH67 (m)	Σ ΔH78 (m)	Σ ΔH89 (m)
BM01b	-0.2308	-	-	-	-	-	-	-
BMW03	0.0115	0.0541	-	-	-	-	-	-
BMW08	-0.087	0.2341	-	-	-0.096	0.057	0.100	-0.051
BMW13	-0.0417	0.2246	-	-	0.038	-0.047	0.020	-0.059
TTG1304	-0.0245	0.1215	-0.129	0.1398	0.022	-0.036	-0.050	-
TTG1305	0.1771	0.0345	0.1749	0.201	0.214	0.017	-0.170	-0.099
TTG1307	-0.0025	0.4131	-	-	0.082	-0.004	0.060	0.066
TTG1322	0.317	0.3246	-	-	0.021	0.014	0.020	0.074
VK08	0.0568	0.2014	-	-	-0.162	-0.632	0.030	0.661
VK09	-0.108	0.0178	-	-	0.02	0.001	0.610	0.098
BMT01	-	0.0688	-0.2214	0.1052	-	-	-	-
BMT02	-	0.0983	-	-	-	-	-	-
BMT03	-	0.0322	-	-	-	-	-	-
P01	-	-	0.05	0.0018	-	-	-	-
P02	-	-	0.025	0.0906	-	-	-	-
P03	-	-	-0.5266	-0.1933	-	-	-	-
P05	-	-	-0.032	-0.0443	-	-	-	-
P06	-	-	-0.0578	-0.0927	-	-	-	-
P07	-	-	-0.0386	0	-	-	-	-
P08	-	-	-0.2947	-0.0666	-	-	-	-
DG04	-	-	-	-	-	0.006	-0.030	-0.503

Ket:

- Σ ΔH12 = Pergeseran Vertikal kala 1-2 tahun 2008
- Σ ΔH23 = Pergeseran Vertikal kala 2-3 tahun 2008
- Σ ΔH34 = Pergeseran Vertikal kala 3-4 tahun 2008
- Σ ΔH45 = Pergeseran Vertikal kala 4-5 tahun 2008
- Σ ΔH56 = Pergeseran Vertikal kala 3 tahun 2008- kala 1 tahun 2009
- Σ ΔH67 = Pergeseran Vertikal kala 1-2 tahun 2009
- Σ ΔH78 = Pergeseran Vertikal kala 2-3 tahun 2009
- Σ ΔH89 = Pergeseran Vertikal kala 3 tahun 2009- kala 1 tahun 2010

Pada tabel 5, titik VK 08 pada kala 1-2 tahun 2009 mengalami penurunan tanah (*Land Subsidence*) mencapai -0.632 m. Sedangkan pada kala 3 tahun 2009 – kala 1 tahun 2010, titik ini mengalami kenaikan permukaan tanah (*uplift*) mencapai 0.661 m. Akan tetapi meskipun mengalami deformasi vertikal yang sangat ekstrim, titik ini menunjukkan perubahan yang tidak stabil tiap kalanya. Sehingga tidak bisa diprediksi perubahan untuk kala-kala berikutnya. Titik lain yang tercatat mengalami penurunan tanah yang cukup besar adalah titik DG-04 dengan nilai -0.53 (kala kala 3 tahun 2009 – kala 1 tahun 2010)

Kecepatan dan Percepatan Turunnya Tanah Secara Kumulatif

Hasil perhitungan kecepatan dan percepatan secara kumulatif dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6. Kecepatan Penurunan Tanah Secara Kumulatif

Nama Titik	Σ ΔV12 (cm/hari)	Σ ΔV23 (cm/hari)	Σ ΔV34 (cm/hari)	Σ ΔV45 (cm/hari)	Σ ΔV56 (cm/hari)	Σ ΔV67 (cm/hari)	Σ ΔV78 (cm/hari)	Σ ΔV89 (cm/hari)
BM01b	-0.7400	-	-	-	-	-	-	-
BMW03	0.0400	0.1200	-	-	-	-	-	-
BMW08	-0.2800	0.8900	-	-	-0.0210	0.1835	0.3328	0.1087
BMW13	-0.1300	0.7400	-	-	0.0083	-0.1306	0.0645	0.0217
TTG1304	-0.0800	0.4100	-0.8100	0.7300	0.0048	-0.1138	-0.1613	-
TTG1305	0.5700	-0.4000	0.4500	0.0700	0.048	0.0532	-0.0055	-0.1848
TTG1307	-0.0100	1.1300	-	-	0.0179	-0.0132	0.0019	0.0652
TTG1322	1.0200	0.0200	-	-	0.0046	0.0442	0.0006	0.0217
VK08	0.1800	0.4000	-	-	-0.0354	-2.0394	0.0010	0.0328
VK09	-0.2500	0.3500	-	-	0.0044	0.0019	0.0197	0.6630
BMT01	-	0.1900	-0.9400	0.8800	-	-	-	-
BMT02	-	0.2700	-	-	-	-	-	-
BMT03	-	0.0900	-	-	-	-	-	-
P01	-	-	0.1600	-0.1300	-	-	-	-
P02	-	-	0.0800	0.1800	-	-	-	-
P03	-	-	-1.7000	0.9000	-	-	-	-
P05	-	-	-0.1000	-0.0200	-	-	-	-
P06	-	-	-0.1900	-0.0900	-	-	-	-
P07	-	-	-0.1200	3.0400	-	-	-	-
P08	-	-	-0.9000	0.6200	-	-	-	-
DG04	-	-	-	-	0.0000	0.0184	-0.0300	-0.0328

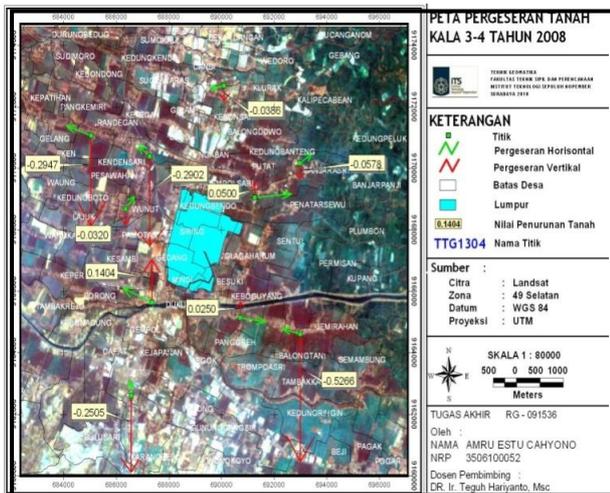
Dari tabel diatas bisa diketahui bahwa titik VK 08 mempunyai kecepatan penurunan tanah terbesar yang mencapai -2.039 cm/hari pada kala 1-2 tahun 2009. Disamping itu Titik yang mengalami Kenaikan permukaan tanah (*uplift*) terbesar adalah titik VK 09 yang mencapai 1.9677 cm/hari pada kala 3 tahun 2009-kala 1 tahun 2010.

Sedangkan untuk percepatan rata-rata kumulatif dari tahun 2008-2010, titik VK-09 juga mengalami percepatan yang sangat signifikan pada kala 3 tahun 2008 - kala 1 tahun 2010. Pada kala

tersebut titik ini mengalami kecepatan hingga 0.72 cm/ hari²

Hasil Peta dan Grafik

Dari view yang telah dibuat dari proses pembuatan layout akan dihasilkan beberapa jenis peta yang dikelompokkan menurut kala 1 dengan kala lainnya. Berikut ini salah satu contoh layout peta pada kala 3-4 tahun 2008.



Gambar 1. Layout Peta Penurunan Tanah

Hasil Analisa Program SIG

Dalam program SIG bisa diketahui titik-titik pengamatan yang dikorelasikan terhadap batas desa di sekitar area lumpur Sidoarjo. Berikut hasil analisa arah dan pergerakan tanah yang disajikan dalam tabel 13

Tabel 13. Percepatan Penurunan Tanah Secara Kumulatif

No	Titik	Kala	Menuju Desa	Kecepatan (cm/hari)	Pergeseran Vertikal
1	BM01b	1-Feb	Ketapang	-0,74	-0,2308
2	BMW 03	1-Feb	Jabon	0,04	0,0115
		2-Mar	Jabon	0,12	0,0426
3	BMW08	1-Feb	Kalidawir	-0,28	-0,0870
		2-Mar	Ngaban	0,89	0,3211
		5-Jun	KedungBendo	-0,021	-0,096
		6-Jul	Kalidawir	0,1835	0,057
		7-Aug	Kedungbendo	0,323	0,1
		8-Sep	Kalidawir	0,3226	0,1
4	BMW13	1-Feb	Jatirejo	-0,13	-0,0417
		2-Mar	Juwetkenongo	0,74	0,2663

No	Titik	Kala	Menuju Desa	Kecepatan (cm/hari)	Pergeseran Vertikal
		5-Jun	Jatirejo	0,008315	0,038
		6-Jul	Kesambi	-0,15	-0,047
		7-Aug	Jatirejo	0,065	0,02
		8-Sep	Jatirejo	0,0645	0,02
5	TTG1304	1-Feb	Kejapanan bagian barat	-0,08	-0,0245
		2-Mar	Kejapanan bagian timur	0,41	0,1460
		3-Apr	Kejapanan bagian utara	-0,81	-0,2505
		4-May	Kejapanan bagian timur	0,73	0,2688
		5-Jun	Kejapanan bagian utara	0,0048	0,022
		6-Jul	Kejapanan bagian timur	-0,1158	-0,036
		7-Aug	Kejapanan bagian utara	-0,161	-0,05
6	TTG1305	1-Feb	Mindi	0,57	0,1771
		2-Mar	Gempol	-0,40	-0,1426
		3-Apr	Juwetkenongo	0,45	0,1404
		4-May	Juwetkenongo	0,07	0,0261
		5-Jun	Juwetkenongo	0,0468	0,214
		6-Jul	Gempol	0,053	0,017
		7-Aug	Juwetkenongo	-0,005	-0,17
		8-Sep	Gempol	-0,5484	-0,17
7	TTG1307	1-Feb	Ngampelsari	-0,01	-0,0025
		2-Mar	Ngampelsari	1,15	0,4156
		5-Jun	Sumorame	0,0179	0,082
		6-Jul	Sumorame	-0,01323	-0,004
		7-Aug	Ngampelsari	0,002	0,06
		8-Sep	Sumorame	0,1935	0,06
8	TTG1322	1-Feb	Winong	1,02	0,3170
		2-Mar	Winong	0,02	0,0076
		5-Jun	Panggreh	0,0045	0,021
		6-Jul	Winong	0,044	0,014
		7-Aug	Winong	0,001	0,02
		8-Sep	Panggreh	0,0645	0,02
9	VK08	1-Feb	Kalidawir	0,18	0,0568
		2-Mar	Ngaban	0,40	0,1446
		5-Jun	Kedungbendo	-0,03545	-0,162
		6-Jul	Kalidawir	-2,039	-0,632
		7-Aug	Kedungbendo	0,001	0,03

No	Titik	Kala	Menuju Desa	Kecepatan (cm/hari)	Pergeseran Vertikal
		8-Sep	Kalidawir	0.0968	0.03
10	VK09	1-Feb	Sentul	-0.35	-0,1080
		2-Mar	Renokenongo	0,35	0,1258
		5-Jun	Renokenongo	0.0043	0.02
		6-Jul	Renokenongo	0.0019	0.001
		7-Aug	Gempolsari	0.02	0.61
		8-Sep	Besuki	1.96	0.098
11	BMT01	2-Mar	Ketegan	0,19	0,0688
		3-Apr	Ketegan	-0,94	-0,2902
		4-May	Kludan	0,88	0,3266
12	BMT02	2-Mar	Pesawahan	0,27	0,0983
13	BMT03	2-Mar	Kalisampurno	0,09	0,0322
14	P01	3-Apr	Banjarasri	0,16	0,0500
		4-May	Putat	-0,13	-0,0482
15	P02	3-Apr	Jemirahan	0,08	0,0250
		4-May	Pangreh	0,18	0,0656
16	P03	3-Apr	Balontani	-1,70	-0,5266
		4-May	Jemirahan	0,90	0,3333
17	P05	3-Apr	Kalisampurno	-0,10	-0,0320
		4-May	Candipari	-0,03	-0,0123
18	P06	3-Apr	Banjarpanji	-0,19	-0,0578
		4-May	Banjarasri	-0,09	-0,0349
19	P07	3-Apr	Gelam	-0,12	-0,0386
		4-May	Klurak	3,84	14.204
20	P08	3-Apr	Pangkemiri	-0,95	-0,2947
		4-May	Randegan	0,62	0,2281
21	DG04	6-Jul	Renokenongo	0.018	0.006
		7-Aug	Pamotan	-0.097	-0.03
		8-Sep	Kedungbendo	-0.0968	-0.503

Dengan analisa ini diharapkan bisa menjadi *Early Warning System* akan adanya kerugian yang ditimbulkan oleh penurunan tanah.

KESIMPULAN

Subsidence/uplift yang terjadi di sekitar tanggul lumpur sidoarjo tidak beraturan dan tidak menunjukkan suatu pola. Akan tetapi untuk pergeseran horisontal dapat dipelajari melalui kecenderungan arah dalam beberapa kala pengamatan. Dari analisis pergeseran horisontal maka dapat disimpulkan bahwa : **Titik TTG 1304** dengan arah pergeseran horisontalnya cenderung

mengarah ke utara dan dan timur laut, **Titik TTG 1305** mempunyai arah pergeseran yang tidak menentu. Namun arah pergeseran titik ini dominan mengarah ke desa Juwetkenongo, **Titik BMW-13**, arah pergeseran horisontalnya cenderung mengarah ke timur laut, **Titik VK-09**, arah pergeseran horisontalnya cenderung mengarah ke utara dan timur laut, **Titik VK-08**, arah pergeseran horisontalnya cenderung mengarah ke barat daya, **Titik BMW-08**, arah pergeseran horisontalnya cenderung mengarah ke timur.

Titik yang mengalami penurunan tanah terbesar adalah **titik VK-08** (-0.632 m pada kala 6-7) dan **DG-04** (-0.503 m pada kala 8-9), **Titik TTG-1304** mengalami rata-rata pergeseran horisontal terbesar mencapai 0.483957 tiap kalanya. Titik yang mengalami kenaikan (uplift) antara lain **Titik TTG-1304, TTG-1305, P01, VK09** dan **TTG-1322** yang berkisar antara 0 cm s/d 61 cm, **Titik VK08** mempunyai kecepatan penurunan tanah yang tertinggi mencapai -2.039 cm/hari, Titik-titik yang berada di dekat tanggul (**TTG-1305, BMW-03, BMW-13, DG-04, VK-08, dan VK-09**), arah pergeseran horisontalnya menuju ke pusat semburan.

SARAN

Dalam rangka memprediksi untuk jangka waktu yang lama dikarenakan tidak adanya penentuan waktu berhentinya semburan lumpur Porong Sidoarjo maka pengamatan distribusi sebaran lumpur dan penurunan permukaan tanah masih diperlukan secara periodik dalam rangka memantau perubahan yang terjadi di permukaan tanah beserta bencana yang akan terjadi nantinya. Diperlukan studi-studi lain serta penelitian geodinamika lainnya sehingga menambah informasi pendukung mengenai upaya mitigasi bencana untuk ke depannya.

Sebagai upaya dalam mitigasi bencana yang ditimbulkan jebolnya tanggul penahan lumpur, diharapkan data penurunan tanah digunakan sebagai *Early warning System* penanganan bencana lumpur.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, H.Z. 2001. *Geodesi Satelit*. Jakarta : P.T. Pradnya Paramita.

Abidin, H.Z., A. Jones., dan J. Kahar. 2006. *Survei Dengan GPS*. Jakarta : P.T. Pradnya Paramita.

Abidin, H.Z. 2007. *Penentuan Posisi Dengan GPS Dan Aplikasinya*. Jakarta : P.T. Pradnya Paramita.

Abidin, H.Z., dkk. 2008. *Subsidence and uplift of Sidoarjo (East Java) due to the eruption of the Lusi mud volcano (2006–present)*. *Jurnal Environmental Geology*. Vol X, No. 7.

Abidin, S. 2009. Analisis Regangan Antara Bagian Selatan Pulau Sumatra Dan Barat Pulau Jawa. Berdasarkan Data Pengamatan GPS. Bandung : Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika FITB-ITB

Andreas, Heri. 2007. Karakteristik Deformasi Stress dan Strain. Materi Kuliah, Institut Teknologi Bandung

Ariyo Wordpress, 2007. Banjir Lumpur Panas Sidoarjo, <URL: <http://ariyo.wordpress.com/2007/06/16/banjir-lumpur-panas-sidoarjo/>>. Dikunjungi pada tanggal 3 Januari 2010, jam 12.00

Hamdani, Rochman. 2004. *Deformasi Vertikal Permukaan Tanah Dan Korelasinya Dengan Penurunan Muka Air Tanah*. Disertasi, Institut Teknologi Bandung.

Hardaningrum, Farida. 2005. *Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan SIG Untuk Analisa Limpasan dan Genangan Air Hujan di Kabupaten Sidoarjo*. Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Hardiyatmo, Harry Crhistady, 1992, *Mekanika Tanah I*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Hariyanto, Teguh, 2007. *Penggunaan Citra Satellit Penginderaan Jauh untuk Pemantauan Volume Lumpur di Lokasi Semburan Lumpur PT. Lapindo Brantas Porong – Sidoarjo*, Pekan Ilmiah Tahunan III, Teknik Geomatika- ITS, Surabaya.

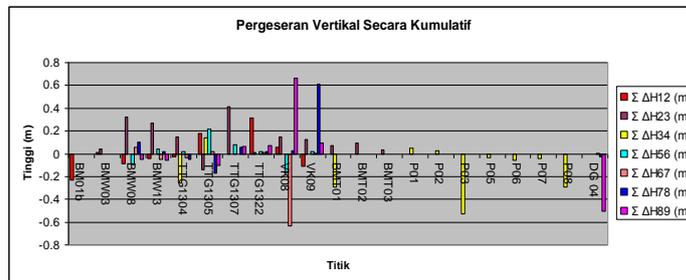
http://www.groundwater.water.ca.gov/technical_assistance/gw_land_subsidence/index.cfm (tanggal 17 Mei 2010, pukul 20.15 WIB)

<http://www.gd.itb.ac.id/webgd/jurnal/> (Tanggal 17 Mei 2010, pukul 16.15 WIB)

Kuang, S., (1996), *Geodetic Network Analysis and Optimal Design : Concept and Applications*, Ann Arbor Press, Inc., Chelsea, Michigan.

Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (LPPM) ITS. 2008. *Penelitian Pemetaan Daerah Rawan Amblesan (Subsidence) Tanah di Daerah Semburan Lumpur, Kabupaten Sidoarjo*. Laporan Pendahuluan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN HISTOGRAM PERGESERAN TANAH



LAMPIRAN GRAFIK PERGESERAN VERTIKAL

